2种饲料投喂下草鱼肌肉品质的比较分析

毛东东[1,2] 张 凯[1] 欧红霞[1] 谢 骏[1*] 吴 垠[2] 黄樟翰[1] 王广军[1] 余德光[1] 郁二蒙[1] 李志斐[1] 龚望宝[1] 田晶晶[1]

（1.中国水产科学研究院珠江水产研究所，农业部热带亚热带水产资源利用与养殖重点试验室，广州 510380；2.大连海洋大学，大连 116023)

摘 要：本试验以皇竹草粉饲料为试验组，以商品配合饲料为对照组，投喂平均体重为（300.00±10） g的草鱼2个月，对其生长性能、形体指标以及肌肉pH、系水力、质构特性、常规营养成分含量、微量元素含量、氨基酸组成和营养价值进行比较分析。结果表明：试验组草鱼的内脏重、肝脏重、腹腔脂肪重、脏体指数、肝体指数及腹脂指数均极显著低于对照组（$P<0.01$），肥满度显著低于对照组（$P<0.05$），而空壳率极显著高于对照组（$P<0.01$）。试验组草鱼肌肉的弹性、咀嚼性、胶着性和硬度均极显著高于对照组（$P<0.01$），黏聚性显著高于对照组（$P<0.05$）。试验组草鱼肌肉pH、滴水损失、失水率和冷冻渗出率均极显著低于对照组（$P<0.01$）。试验组草鱼肌肉的粗脂肪含量显著低于对照组（$P<0.05$），铁（Fe）含量极显著高于对照组（$P<0.01$）。试验组和对照组草鱼肌肉中均含有16种氨基酸，氨基酸总量分别为17.43%和17.23%。试验组和对照组草鱼肌肉中各种氨基酸含量均无显著差异（$P>0.05$），必需氨基酸指数分别为84.66和84.94。由此得出，与商品配合饲料相比，投喂皇竹草粉饲料可改善草鱼的肌肉品质。

关键词：草鱼；皇竹草粉饲料；质构特性；系水力；营养价值

中图分类号：S963　　　　文献标志码：A　　　　文章编号：

草鱼（*Ctenopharyngodon idellus*），隶属于硬骨鱼纲，鲤形总目，鲤科，草鱼属，为典型的草食性鱼类，俗称鲩、鲩鱼、草鲩等。草鱼是我国重要的养殖经济鱼类，2015年全国产量为567.62万t[1]，是目前全世界最大的淡水养殖品种。但是，随着草鱼养殖产量的不断提高，草鱼肌肉品质逐渐下降[2]。有报道指出[3]，当长期利用配合饲料饲养草鱼时，会造成腹腔脂肪沉积、体形异常及肉味变差，最终导致鱼肉品质降低。为此，有学者在草鱼饲养过程中通过投喂杂交狼尾草（*Pennisetum americanum*×*P. purpure*）[4]、美国矮象草（*Pennisetum purpereum*）[5]、苏丹草（*Sorghum sudanense*）[6]、黑麦草（*Lolium perenne*）[7]等对草鱼的肌肉品质进行改良，取得了较好的效果。目前，用草粉作为草食性或杂食性

收稿日期：2017-11-29
基金项目：广东省渔港建设和渔业产业发展专项（A201601B03）；广东省海洋渔业科技与产业发展专项（B201500B11）；现代农业产业技术体系专项（CARS-46-17）；中国水产科学研究院基本科研业务费专项（2016HYZD0703）
作者简介：毛东东（1991—），男，贵州遵义人，硕士研究生，水产养殖专业。E-mail：maoddong@126.com
*通信作者：谢 骏，研究员，硕士生导师，E-mail：xiejunhy01@126.com

鱼类的饲料原料，亦是研究的方向之一。张春梅等[8]在鲤鱼饲料中添加部分紫花苜蓿草粉，结果发现有助于提高鱼肉品质。

皇竹草（*Pennisetum sinese* Roxb.），属禾本科多年生草本植物。研究表明，皇竹草营养物质如粗蛋白质、矿物质及维生素等含量丰富，具有较高的利用价值[9-10]。李小艳[11]利用皇竹草鲜草和配合饲料搭配饲养草鱼，对草鱼肌肉品质能起到较好的改善效果。但目前有关饲料中添加皇竹草粉对草鱼肌肉品质改良的研究尚未见报道。

因此，本试验以草鱼（300 g 左右）为研究对象，在 2 个月内分别投喂皇竹草粉饲料与商品配合饲料，比较分析 2 组草鱼在肌肉营养成分及品质特性方面的异同，为草鱼的肌肉品质改良提供基础资料及理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验用皇竹草粉饲料由广东省江门鹤山市广佛饲料厂加工，除皇竹草粉由珠江水产研究所精准养殖基地提供外，其他各种饲料原料和商品配合饲料均由该厂提供。黄忠志等[12]研究表明，当草鱼饲料中粗纤维含量为 12.0%时，草鱼成鱼生长最快。因此，本试验中皇竹草粉的添加量为 25%，替代商品配合饲料中米糠和部分豆粕等饲料原料，最终制得粗纤维含量为 12.1%的皇竹草粉饲料。2 种饲料的常规营养成分及总能见表 1。

表 1 2 种饲料及皇竹草粉的常规营养成分及总能

Table 1 Common nutritional components and gross energy of two kinds of feeds and *Pennisetum sinese* Roxb. meal

项目 Items	水分 Moisture/%	粗蛋白质 Crude protein/%	粗脂肪 Crude fat/%	粗灰分 Ash/%	粗纤维 Crude fiber/%	总能 Gross energy/（MJ/kg）
皇竹草粉饲料 *Pennisetum sinese* Roxb. meal feed	10.0	27.9	3.3	7.4	12.1	12.26
商品配合饲料 Commercial formulate feed	9.7	29.9	5.9	6.8	9.2	13.87
皇竹草粉 *Pennisetum sinese* Roxb. meal	12.9	14.1	1.8	10.8	18.5	4.63

1.2 试验动物与饲养管理

试验在佛山市顺德区龙江镇左滩兴莹水产专业合作社进行。试验分设 2 组，以皇竹草粉饲料为试验组，以商品配合饲料为对照组，每组 3 口池塘，共使用 6 口池塘，每口池塘 0.5 hm^2。每口池塘均放养来源一致、规格整齐、体质健康、均重（300.00±10.00） g 的草鱼 10 000 尾左右。试验于 2017 年 7 月 1 日开始，共持续 2 个月。每天 09:30 和 17:30 各投

喂 1 次，日投喂量为草鱼体重的 3%～5%。试验期间，池塘水温（WT）28.0～33.0 ℃，溶氧（DO）浓度 5.6～6.4 mg/L，pH 6.8～7.1。

1.3 样品采集

养殖结束后，从每个池塘随机选取健康草鱼 6 尾，共计 36 尾（对照组 18 尾，试验组 18 尾），采样时间为 2017 年 9 月 1 日。将试验鱼饥饿 24 h 后麻醉，从 2 组试验鱼中随机各选取 9 尾，先测定体重和体长，其中体长为草鱼吻端至尾鳍基部的垂直距离；然后将鱼体解剖，称量内脏、肝胰脏及腹腔脂肪重；最后取鱼体背部侧线上方肌肉，将肌肉置于-20 ℃冰箱保存备用，以待测定肌肉中常规营养成分、矿物元素含量和氨基酸组成。另将每组剩下 9 尾草鱼解剖，取鱼体背部侧线上方肌肉，立即进行肌肉 pH、系水力和质构特性等指标的测定。

1.4 指标测定与方法

1.4.1 形体指标计算

脏体指数（%）=（W_1/W）×100；

肝体指数（%）=（W_2/W）×100；

空壳率（%）=（W_3/W）×100；

腹脂指数（%）=（W_4/W）×100；

肥满度（CF，%）=（W/L^3）×100。

式中：W_1 为内脏重；W_2 为肝脏重；W_3 为躯壳重；W_4 为腹腔脂肪重；W 为终末体重；L 为体长。

1.4.2 肌肉 pH 及系水力测定

pH 测定：在侧线上方、背部肌肉的侧面切口，将肌肉 pH 直测仪（德国麦特斯 pH-Star）的玻璃探头完全插入肌肉中，测定 pH。

系水力测定：参考程辉辉等[7]的方法测定肌肉系水力，测定指标包括滴水损失、冷冻渗出率、失水率。

1.4.3 肌肉质构特性测定

参考夏耘等[13]的方法，采集鱼体背部侧线上方肌肉，切成 2.0 cm×2.0 cm×1.0 cm 的块状。利用 TA.XT2i 型物性测试仪（英国 Stable Micro Systems 公司），使用平底柱形探头 P/35R，对肌肉样品进行 2 次压缩即全质构分析(TPA)测试。测试条件：测试前速率 1.0

mm/s，测试速率 1.0 mm/s，测试后速率 1.0 mm/s，压缩程度 30%，探头 2 次间隔时间为 5.0 s。数据采集速率：400.0 pps；触发类型：自动。TPA 测试样品在室温条件下进行。

1.4.4 肌肉中常规营养成分含量测定

肌肉中粗灰分、水分、粗蛋白质及粗脂肪含量分别参照 GB 5009.4-2010（马弗炉 550 ℃灼烧法）、GB 5009.3-2010（105 ℃干燥法）、GB 5009.5-2010（凯氏定氮法）及 GB/T 5009.6-2003（索氏提取法）进行测定。

1.4.5 肌肉中矿物元素含量测定

肌肉中镁（Mg）、磷（P）、铁（Fe）、锌（Zn）及硒（Se）含量测定前分别参照 GB/T 5009.90-2003、GB/T 5009.87-2003 中第 1 种方法、GB/T 5009.90-2003、GB/T 5009.14-2003 中第 1 种方法及 GB 5009.93-2010 中第 1 种方法对肌肉样品进行处理，使用 300 型原子吸收分光光度计测定 Mg、Fe 及 Zn 的含量，使用原子荧光光度计测定 Se 的含量，使用 721 型分光光度计测定磷 P 的含量。

1.4.6 肌肉中氨基酸组成

参照 GB/T 5009.124-2003，使用高效液相色谱仪测定肌肉中氨基酸组成及其含量。

1.4.7 氨基酸营养价值评价

按照联合国粮农组织//世界卫生组织(FAO/WHO)氨基酸评分标准模式[14]和全鸡蛋蛋白质模式[15]，计算草鱼肌肉中氨基酸评分（AAS）、化学评分（CS）、必需氨基酸指数（EAAI）和 F 值[16]，评价其营养价值。各项指标计算公式如下：

AAS=待测蛋白质中某种氨基酸含量（mg/g prot）/FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量（mg/g prot）；

CS=待测蛋白质中某种氨基酸含量（mg/g prot）/全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量（mg/g prot）；

$$\mathrm{EAAI}=\sqrt[n]{100A1/AE1\times100A2/AE2\times\ \ldots\ \times100An/AEn}$$

$$F\text{ 值}=\frac{\mathrm{Val+Leu+Ile}}{\mathrm{Phe+Tyr}}。$$

式中：n 为比较的必需氨基酸个数；$A1$，$A2$，…，An 分别为草鱼肌肉蛋白质中必需氨基酸含量(mg/g prot)；$AE1$，$AE2$，…，AEn 为全鸡蛋蛋白质中必需氨基酸含量（mg/g prot）；F 值为支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值，其中支链氨基酸=缬氨酸（Val）+亮氨酸（Leu）+异亮氨酸（Ile），芳香族氨基酸=苯丙氨酸（Phe）+酪氨酸（Tyr）。

1.5 数据处理与分析

数据采用 Excel 2016 软件进行整理，SPSS 21.0 软件进行独立样本 *t* 检验，结果用平均值±标准差表示，以 $P<0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。

2 结 果

2.1 生长性能和形体指标

2 种饲料对草鱼生长性能和形体指标的影响见表 2。在生长性能方面，试验组与对照组草鱼的终末体重、终末体长均无显著差异（$P>0.05$）；在形体指标方面，试验组内脏重、肝脏重、腹腔脂肪重、肝体指数、脏体指数及腹脂指数均极显著低于对照组（$P<0.01$），肥满度显著低于对照组（$P<0.05$），而空壳率则极显著高于对照组（$P<0.01$）。

表 2 2 种饲料对草鱼生长性能和形体指标的影响

Table 2 Effects of two kinds of feeds on growth performance and physical indicators of grass carp (n=9)

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trial group
终末体重 Final body weight/g	1 142.83±44.59	1 086.07±15.75
终末体长 Final body length/cm	38.73±0.15	40.37±1.12
内脏重 Viscera weight/g	134.03±13.12	71.63±2.41**
肝脏重 Liver weight/g	36.53±3.19	16.43±0.75**
腹腔脂肪重 Intraperitonea fat weight/g	46.00±3.96	17.37±1.12**
肥满度 Condition factor/(g/cm^3)	1.97±0.10	1.66±0.12*
空壳率 Carcass rate/%	88.27±0.78	93.40±0.13**
肝体指数 Hepatosomatic index/%	3.20±0.19	1.51±0.05**
脏体指数 Viscerasomatic index/%	11.71±0.77	6.60±0.14**
腹脂指数 Intraperitonea fat index/%	4.02±0.31	1.60±0.08**

“*”表示与对照组相比差异显著（$P<0.05$），“**”表示与对照组相比差异极显著（$P<0.01$）。下表同。

“*” mean significant difference compared with control group ($P<0.05$), “**” mean extremely significant difference compared with control group （$P<0.01$）. The same as below.

2.2 肌肉质构特性

在质构特性（表 3）方面，2 组草鱼肌肉的恢复性无显著差异（$P>0.05$），但试验组草鱼肌肉的黏聚性显著高于对照组（$P<0.05$），且弹性、咀嚼性、胶着性和硬度均极显著高于对照组（$P<0.01$）。在物理特征（表 4）方面，试验组草鱼肌肉 pH 极显著

高于对照组（$P<0.01$），而滴水损失、失水率和冷冻渗出率均极显著低于对照组（$P<0.01$）。

表 3 2 种饲料对草鱼肌肉质构特性的影响

Table 3 Effects of two kinds of feeds on texture properties of muscle of grass carp (n=9)

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trial group
弹性 Springiness	0.66±0.12	1.73±0.05**
黏聚性 Cohesiveness	0.41±0.03	0.52±0.04*
咀嚼性 Chewiness/N	8.71±0.25	16.02±1.58**
恢复性 Resilience	0.23±0.01	0.25±0.01
胶着性 Gumminess/N	10.02±0.57	19.06±1.56**
硬度 Hardness/N	21.48±0.85	31.55±1.12**

表 4 2 种饲料对草鱼肌肉 pH 和系水力的影响

Table 4 Effects of two kinds of feed on pH and water holding capacity of muscle of grass carp (n=9)

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trial group
pH	6.28±0.02	6.61±0.05**
滴水损失 Drip loss/%	3.29±0.32	1.27±0.49**
失水率 Liquid loss rate/%	17.9±0.87	14.40±0.89**
冷冻渗出率 Thawing loss rate/%	7.67±1.16	5.66±0.45**

2.3 肌肉中常规营养成分与矿物元素含量

在肌肉常规营养成分含量（表 5）方面，试验组草鱼肌肉中粗脂肪含量显著低于对照组（$P<0.05$），粗灰分、粗蛋白质及水分含量则与对照组无显著差异（$P>0.05$）。在矿物元素含量（表 6）方面，2 组草鱼肌肉中 Mg、P、Zn 和 Se 含量均无显著差异（$P>0.05$），试验组草鱼肌肉中 Fe 含量则极显著高于对照组（$P<0.01$）。

表 5 2 种饲料对草鱼肌肉中常规营养成分含量的影响

Table 5 Effects of two kinds of feeds on common nutritional components in muscle of grass carp (n=9) %

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trial group
粗灰分	1.23±0.06	1.40±0.10

Ash		
粗蛋白质 Crude protein	18.00±0.66	18.37±0.21
粗脂肪 Crude fat	2.00±0.87	0.68±0.25*
水分 Moisture	77.87±0.68	77.90±0.44

表 6 2 种饲料对草鱼肌肉中矿物元素含量的影响

Table 6 Effects of two kinds of feeds on mineral element contents in muscle of grass carp (n=9)   mg/kg

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trial group
镁 Mg	294.00±2.00	302.67±8.33
磷 P	2 463.33±73.71	2 606.67±195.53
铁 Fe	2.63±0.06	5.87±0.60**
锌 Zn	5.53±0.38	5.50±0.26
硒 Se	0.21±0.02	0.17±0.02

2.4 肌肉中氨基酸组成

由表 7 可知，试验组与对照组草鱼肌肉中氨基酸组成基本一致，均含有 16 种氨基酸，且各种氨基酸含量均无显著差异（P>0.05），其氨基酸总量（TAA）分别为 17.43%和 17.23%。在 16 种氨基酸中，有 7 种必需氨基酸（EAA）、2 种半必需氨基酸（SEAA）和 7 种非必需氨基酸（NEAA）。试验组和对照组草鱼肌肉中鲜味氨基酸总量（TDAA）分别为 6.88%和 6.78%，而 TDAA 占必需氨基酸总量（TEAA）的百分比分别能达到 39.45%和 39.35%。试验组和对照组草鱼肌肉中均以谷氨酸含量最高，分别高达 3.02%和 2.96%，而组氨酸含量均最少，分别为 0.39%和 0.41%；试验组和对照组草鱼肌肉中赖氨酸含量分别为 1.80%和 1.76%。试验组草鱼肌肉中半必需氨基酸总量（TSEAA）占 TAA 的百分比显著低于对照组（P<0.05），肌肉中 TAA、TDAA、TEAA、TSEAA、非必需氨基酸总量（TNEAA）、TEAA 占 TAA 的百分比、TEAA 占 TNEAA 的百分比、TNEAA 占 TAA 的百分比及 TDAA 占 TAA 的百分比与对照组均无显著差异（P>0.05）。

表 7 2 种饲料对草鱼肌肉中氨基酸组成的影响（湿重基础）

Table 7 Effects of two kinds of feeds on amino acid composition in muscle of grass crap (wet weight basis, n=9)   %

氨基酸 Amino acids	对照组 Control group	试验组 Trial group
天冬氨酸 Asp$^^	1.82±0.04	1.90±0.05
谷氨酸 Glu$^^	2.96±0.05	3.02±0.11
甘氨酸 Gly$^^	0.89±0.16	0.84±0.05
丙氨酸 Aly$^^	1.11±0.08	1.12±0.03
脯氨酸 Pro^	0.63±0.11	0.57±0.03
丝氨酸 Ser^	0.71±0.01	0.72±0.01

组氨酸 His#	0.41±0.02	0.39±0.03
精氨酸 Arg#	1.13±0.06	1.11±0.03
苏氨酸 Thr&	0.79±0.01	0.80±0.03
缬氨酸 Val&	0.89±0.04	0.92±0.05
蛋氨酸 Met&	0.54±0.04	0.51±0.02
异亮氨酸 Ile&	0.80±0.03	0.83±0.04
亮氨酸 Leu&	1.45±0.03	1.49±0.05
赖氨酸 Lys&	1.76±0.04	1.80±0.05
苯丙氨酸 Phe&	0.74±0.04	0.77±0.02
酪氨酸 Tyr^	0.61±0.02	0.62±0.02
氨基酸总量 TAA	17.23±0.61	17.43±0.49
必需氨基酸总量 TEAA	6.97±0.19	7.12±0.24
半必需氨基酸总量 THEAA	1.54±0.07	1.50±0.06
鲜味氨基酸总量 TDAA	6.78±0.31	6.88±0.18
非必需氨基酸总量 TNEAA	8.12±0.42	8.17±0.20
必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比 Percent of TEAA to TAA	43.19±4.21	40.86±0.39
必需氨基酸总量占非必需氨基酸总量的百分比 Percent of TEAA to TNEAA	85.85±2.89	87.18±1.35
非必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比 Percent of TNEAA to TAA	47.12±0.83	46.87±0.28
半必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比 Percent of THEAA to TAA	8.93±0.11	8.59±0.09*
鲜味氨基酸总量占氨基酸总量的百分比 Percent of TDAA to TAA	39.35±0.43	39.45±0.13

$：鲜味氨基酸；&：必需氨基酸；#：半必需氨基酸；^：非必需氨基酸。
$: delicious amino acids (DAA); &: essential amino acids (EAA); #: semi-essential amino acids (SEAA); ^: non-essential amino acids (NEAA).

2.5 氨基酸营养价值评价

通过对 2 组草鱼的 AAS 和 CS 进行比较，发现 2 组草鱼的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸，第二限制性氨基酸均为缬氨酸。EAAI 和 F 值是营养价值评价指标之一，本试验中试验组和对照组草鱼的 EAAI 分别为 84.66 和 84.94，F 值分别为 2.33 和 2.32（表 8）。

表 8 2 组草鱼肌肉中必需氨基酸含量（mg/g prot）、AAS、CS、EAAI 及 F 值

Table 8 Essential amino acid contents （mg/g prot）, AAS, CS, EAAI and F in muscle of grass crap

必需氨基酸 Amino acids	FAO/WHO 模式 FAO/WHO pattern	全鸡蛋蛋白质模式 Whole egg protein pattern	对照组 Control group	试验组 Trial group	氨基酸评分 AAS		化学评分 CS	
					对照组 Control group	试验组 Trial group	对照组 Control group	试验组 Trial group

Ile	40.00	50.00	44.63	45.37	1.12	1.14	0.83	0.84
Leu	70.00	86.00	80.56	81.31	1.15	1.16	0.94	0.95
Lys	55.00	70.00	97.78	97.82	1.77	1.78	1.39	1.40
Met+Cys	35.00	57.00	29.82	27.95	0.85	0.80	0.52	0.49
Phe+Tyr	60.00	93.00	75.00	75.68	1.24	1.26	0.82	0.81
Thr	40.00	47.00	43.70	43.74	1.08	1.10	0.93	0.94
Val	50.00	66.00	49.63	49.91	0.98	0.97	0.75	0.76
合计 Total	350.00	473.00	421.12	421.78				
EAAI			84.94	84.66				
F 值 F value			2.32	2.33				

Ile：异亮氨酸；Leu：亮氨酸；Lys：赖氨酸；Thr：苏氨酸；Val：缬氨酸；Phe+Tyr：苯丙氨酸+酪氨酸；Met+Cys：蛋氨酸+胱氨酸；EAAI：必需氨基酸指数。

Ile: isoleucine; Leu: leucine; Lys: lysine; Thr: threonine; Val: valine; Phe+Tyr: phenylalanine+tyrosine; Met+Cys: methionine+cystine; EAAI: amino acid index.

3 讨 论

3.1 生长性能和形体指标分析

本研究结果显示，投喂皇竹草粉饲料和商品配合饲料对草鱼终末体长和终末体重均无显著影响。黄志忠等[12]研究表明，草鱼饲料中粗纤维含量为 12.0%时不影响草鱼的生长，本研究中皇竹草粉饲料中粗纤维含量为 12.1%。Torrissen 等[17]研究表明，鱼类饲料中纤维物质的营养作用表现为刺激肠胃蠕动和刺激消化酶的分泌，从而促进营养物质的消化和吸收。因此，在饲料中添加合适的皇竹草粉并不影响草鱼的生长。

鱼的体形是评价商品鱼品质的重要指标之一，较好体形的鱼越来越受到消费者的青睐。本研究中，试验组草鱼的内脏重、肝脏重、腹腔脂肪重均极显著低于对照组，肥满度显著低于对照组，与黄世蕉等[3]利用旱草青料饲喂草鱼的试验结果相似。肝体指数、脏体指数和腹脂指数是对长期和短期营养方式改变较敏感的指标[18-20]。本研究中试验组草鱼的肝体指数、脏体指数和腹脂指数均极显著低于对照组，表明投喂皇竹草粉饲料能有效解决鱼体脂肪过度蓄积造成的体形异常问题。亦有研究表明，鱼体脂肪过度蓄积会增加脂肪酸在体内的氧化和过氧化反应，危害鱼体的健康，进而影响鱼肉品质[21-22]。本研究中，试验组草鱼腹腔脂肪蓄积少，具有较好的体形，符合商品鱼市场要求。

3.2 肌肉质构特性及物理特征分析

近年来，鱼肉的质构评价是消费者关注的焦点，因此，对草鱼的肌肉质构特性进行分析十分必要。目前主要采用 TPA 法检测肌肉的质构特性，该方法不仅可对各指标进行量化，而且操作简单，人为误差小，可以客观地评价肌肉品质[23]。

影响肌肉质构特性的因素较多，如饲料成分、生长环境及养殖模式等，其中饲料成分对鱼肉质构特性的影响较大[24-25]。有研究表明，在饲料中添加蚕豆、植物蛋白知及谷氨酸等均能显著提高草鱼肌肉的硬度、弹性、咀嚼性和胶着性等，有利于改善鱼肉质构特性。本研究中，试验组草鱼肌肉咀嚼性和硬度均极显著高于对照组。Johnston 等[26]研究表明，鱼肉的咀嚼性和硬度越高，其肉质口感越好。因此，试验组草鱼肉质口感优于对照组。

肌肉 pH 的变化影响肉品质，可作为评价肉品质的指标之一。有研究指出，pH 较低会造成蛋白质变性；而 pH 越高，肌肉嫩度越好[27]。本研究中，试验组草鱼肌肉 pH 极显著高于对照组，说明投喂皇竹草粉饲料可极显著提高草鱼肌肉的嫩度。系水力是指肌肉组织在物理形态和化学组成发生变化时，对其所含水分的束缚能力。有研究表明系水力与肉质多汁性有关，肌肉系水力越高，肉品质越好[28-29]。本研究中，试验组草鱼肌肉系水力指标滴水损失、失水率和冷冻渗出率均极显著低于对照组，说明试验组草鱼肌肉系水力强于对照组。由此可见，投喂皇竹草粉饲料可以较好地改善草鱼的肌肉品质。

3.3 肌肉中常规营养成分和微量元素含量分析

鱼体的肌肉是主要食用部分，其主要营养成分有粗灰分、粗脂肪质、粗蛋白质、水分等，是评价鱼品质的重要指标。本研究中，试验组草鱼肌肉中粗脂肪含量显著低于对照组，张春梅等[8]在鲤鱼饲料中添加苜蓿草粉的试验亦得到类似结果。Grigorakis 等[30]研究表明，斜带石斑鱼肌肉中粗脂肪含量降低时促使肌束间的摩擦力增大，从而使肌肉的咀嚼性增强，肉质口感得到提升[25]。上述结果说明，与投喂商品配合饲料相比，投喂皇竹草粉饲料可降低草鱼肌肉中粗脂肪含量，有助于增强草鱼肌肉的咀嚼性，提升草鱼肌肉品质。

鱼肉中富含人体所需的矿物元素，其中微量元素尤为重要，它们是身体发育与生长所必需的营养物质，如 Fe、Zn 及 Se 等。因此，矿物元素组成及含量是评价鱼肉营养价值的指标。Mg、P 不仅能促进人体生长，而且有降低中老年人骨折的风险；Zn 有助于提高儿童免疫力和智力发育；Se 在预防心血管疾病、抗氧化、抗衰老、抗癌等方面都有着重要作用[31]；Fe 不仅是肌红蛋白的重要组成元素，而且能防止鱼体脂肪氧化、保持鱼肉风味，从而改善肌肉品质[32]。本研究中，试验组草鱼肌肉中 Fe 含量极显著高于对照组，是对照组的 2 倍之多，进一步表明试验组草鱼肌肉中营养成分更丰富，食用价值更高。

3.4 肌肉中氨基酸组成分析及营养价值评价

氨基酸的种类、数量和组成是评价鱼肉品质的重要指标[33-34]。本研究中，试验组与对照组草鱼肌肉中各种氨基酸含量均无显著差异，仅 THEAA 占 TAA 的百分比存在显著差异。鲜味氨基酸(DAA)的组成与含量决定了鱼肉的鲜美程度鲜味，本研究中，2 组草鱼肌肉中 TDAA 差异不显著，表明 2 组草鱼肌肉风味相似。鱼肉中氨基酸的均衡对人体健康尤为重要。根据 FAO/WHO 的最佳模式，当食物中 TEAA 占 TAA 的百分比在 40%左右，TEAA 占 TNEAA 的百分比在 60%以上时，表明其含有优质蛋白质[35]。本研究中，试验组和对照组草鱼肌肉中 TEAA 占 TAA 的百分比均高于 40%，TEAA 占 TNEAA 的百分比均远高于 60%，其中试验组草鱼肌肉中 TEAA 占 TNEAA 的百分比高达 87.18%，均符合 FAO/WHO 优质蛋白质的要求；氨基酸评价结果表明，试验组草鱼肌肉的 EAAI 为 84.66，对照组为

84.94，其组成符合 FAO/WHO 的模式，故 2 组草鱼肌肉氨基酸平衡性均较好，均可满足人体对氨基酸的摄入需求。

4 结 论

与摄食商品配合饲料的草鱼相比，摄食皇竹草粉饲料的草鱼肌肉具有较高的黏聚性、硬度、弹性、咀嚼性和胶着性，较高 pH 和系水力以及较高的 Fe 含量，说明投喂皇竹草粉饲料可改善草鱼的肌肉品质。

参考文献：

[1] 农业部渔业局编制.中国渔业统计年鉴 2016[M].北京:中国农业出版社,2016.

[2] 毕香梅,郁二蒙,王广军,等.摄食青草和人工配合饲料的草鱼肌肉营养成分分析及比较[J].广东农业科学,2011,38(1):132–134.

[3] 黄世蕉,黄琪琰.投喂青料和添加剂对草鱼生长和脂肪代谢的影响[J].上海水产大学学报,1992,1(1/2):20–26.

[4] 冯德庆.南方山区鱼用优质牧草筛选和饲喂草鱼效果研究[D].硕士学位论文.福州:福建农林大学,2009.

[5] 陈丽婷.3 种优质青饲料对草鱼饲养效果及投喂技术研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2013.

[6] 赵慧星.苏丹草施肥效果及对草鱼生长和品质的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2007.

[7] 程辉辉,谢从新,李大鹏,等.种青养鱼模式下的草鱼肌肉营养成分和品质特性[J].水产学报,2016,40(7):1050–1059.

[8] 张春梅,王成章,胡喜峰,等.紫花苜蓿草粉对鲤鱼生长性能及鱼体品质的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(9):24–30.

[9] 姜琼,谢好,赵友华.宜春引种皇竹草的营养成分和无机元素的实验测定与评价[J].宜春学院学报,2014,36(6):112–114.

[10] 谭文彪,黄志旁.皇竹草营养成分及总能含量分析[J].西南林业大学学报,2006,26(6):40–43.

[11] 李小艳.皇竹草饲养草鱼的生态经济价值研究[D].硕士学位论文.广州:华南师范大学,2014.

[12] 黄忠志,廖朝兴,曹经晔.饲料配方中纤维素含量对草鱼生长及饲料利用的影响[J].淡水渔业,1983(6):1–4.

[13] 夏耘,余德光,谢骏,等.短期饥饿对草鱼肌肉质构的影响[J].食品工业科技,2017,38(9):102–107.

[14] FAO.Energy and protein requirements[S].Rome:FAO,1973:52.

[15] 桥本芳郎.养鱼饲料学[M].蔡完其,译.北京:中国农业出版社,1980:104–115.

[16] PELLETT P L,YONG V R.Nutritional evaluation of protein food[M].Tokyo:The United National University Publishing Company,1980.

[17] TORRISSEN O J,CHRISTIANSEN R.Requirements for carotenoids in fish diets[J].Journal of Applied Ichthyology,2010,11(3/4):225–230.

[18] GÉLINEAU A,CORRAZE G,BOUJARD T,et al.Relation between dietary lipid level and voluntary feed intake,growth,nutrient gain,lipid deposition and hepatic lipogenesis in rainbow trout[J].Reproduction Nutrition Development,2001,41(6):487–503.

[19] 刘颖.饲料蛋白水平及蛋白质量对彭泽鲫养殖全期生长的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2008.

[20] 田丽霞,刘永坚,冯健,等.不同种类淀粉对草鱼生长、肠系膜脂肪沉积和鱼体组成的影响[J].水产学报,2002,26(3):247–251.

[21] DIAS J,ALVAREZ M J,DIEZ A,et al.Regulation of hepatic lipogenesis by dietary protein/energy in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*)[J].Aquaculture,1998,161(1/2/3/4):169–186.

[22] CHAIYAPECHARA S,CASTEN M T,HARDY R W,et al.Fish performance,fillet characteristics,and health assessment index of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing adequate and high concentrations of lipid and vitamin E[J].Aquaculture,2003,219(1/2/3/4):715–738.

[23] HATAE K,YOSHIMATSU F,MATSUMOTO J J.Role of muscle fibers in contributing firmness of cooked fish[J].Journal of Food Science,1990,55(3):693–696.

[24] 关磊,朱瑞俊,李小勤,等.普通草鱼与脆化草鱼的肌肉特性比较[J].上海海洋大学学报,2011,20(5):748–753.

[25] 柳明,朱晓鸣,雷武,等.不同饲料营养对池塘养殖长吻鮠生长性能和鱼肉品质的影响[J].水生生物学报,2010,34(3):598–610.

[26] JOHNSTON I A,MANTHRI S,BICKERDIKE R,et al.Growth performance,muscle structure and flesh quality in out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts reared under two different photoperiod regimes[J].Aquaculture,2004,237(1/2/3/4):281–300.

[27] 章梁,侯温甫,黄泽元.肌原纤维特性及其在鱼肉制品加工中的应用[J].武汉轻工大学学报,2008,27(4):19–22.

[28] OFFER G,KNIGHT P,JEACOCKE R,et al.The structural basis of the water-holding,appearance and toughness of meat and meat products[J].Aquaculture,1989,26(3/4):311–320.

[29] WU D,SUN D W.Application of visible and near infrared hyperspectral imaging for non-invasively measuring distribution of water-holding capacity in salmon flesh[J].Talanta,2013,116:266–276.

[30] GRIGORAKIS K,ALEXIS M N.Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed different dietary regimes[J].Aquaculture Nutrition,2005,11(5):341–344.

[31] 吴万征,吴忠.微量元素硒与人体健康[J].广东微量元素科学,2000,7(11):7–11.

[32] HAMILTON R J,KALU C,PRISK E,et al.Chemistry of free radicals in lipids[J].Food Chemistry,1997,60(2):193–199.

[33] 程汉良,蒋飞,彭永兴,等.野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析[J].食品科学,2013,34(13):266–270.

[34] FAUCONNEAU B,ALAMI-DURANTE H,LAROCHE M,et al.Growth and meat quality relations in carp[J].Aquaculture,1995,129(1/2/3/4):265–297.

[35] WHO.Protein and amino acid requirements in human nutrition[M].Geneva:World Health Organization,2007.

Comparative Analysis on Flesh Quality of Grass Crap (*Ctenopharyngodon idellus*) Fed with Two Kinds of Feeds

MAO Dongdong[1,2] ZHANG Kai[1] OU Hongxia[1] XIE Jun[1*] WU Yin[2] HUANG Zhanghan[1]
WANG Guangjun[1] YU Deguang[1] YU Ermeng[1] LI Zhifei[1] GONG Wangbao[1] TIAN Jingjing[1]

(1. *Key Laboratory of Tropical and Subtropical Fishery Resource Application and Cultivation, Ministry of Agriculture, Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou* 510380, *China;* 2. *Dalian Ocean University*, *Dalian* 116023, *China*)

Abstract: In this experiment, grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) at the average body weight of （300.00±10.00） g were fed two different feeds which were *Pennisetum sinese* Roxb meal feed (trial group) and commercial formulate feed (control group) for two months. The growth performance, physical indicators, and the muscle pH, water-holding capacity, texture properties, common nutritional component contents, mineral element contents, amino acid composition and nutrient value of grass crap were comparatively analyzed. The results showed that the viscera weight, liver weight, intraperitoneal fat weight, viscera somatic index (VSI), hepatosomatic index (HSI) and intraperitoneal fat index (IFI) of the trial group were extremely significantly lower than those of the control group ($P<0.01$), and the condition factor was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$), whereas the carcass rate of the trial group was extremely significantly higher than that of the control group ($P<0.01$). Some texture property indicators of muscle of grass crap such as springiness, hardness, chewiness and gumminess of the trial group were extremely significantly higher than those of the control group ($P<0.01$), and the cohesiveness was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$). The muscle pH, drip loss, thawing loss rate and liquid loss rate of the trial group were extremely significantly lower than those of the control group ($P<0.01$). The content of crude fat in muscle of the trial group was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$). The content of iron (Fe) in the trial group was extremely significantly higher than that of the control group ($P<0.01$). The muscle of grass carp both of trial group and control group contained 16 amino acids, accounting for 17.43% and 17.23%, respectively. Each amino acid content in muscle had no significant difference between trial group and control group ($P>0.05$). The essential amino acid index of the trial group was

*Corresponding author, professor, E-mail: xiejunhy01@126.com　(责任编辑　菅景颖)

84.66 compared with 84.94 for the control group. Hence, compared with the commercial formulate feed, the *Pennisetum sinese* Roxb meal feed can improve the flesh quality of grass crap.

Key words: grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*); *Pennisetum sinese* Roxb meal; texture properties; water-holding capacity; nutrient value